

RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE
PARIS

(11) N° de publication :
(A n'utiliser que pour les
commandes de reproduction).

2 491 607

A1

**DEMANDE
DE BREVET D'INVENTION**

(21)

N° 80 21147

(54) Procédé et dispositif de stockage d'énergie thermique à basse température et leur application.

(51) Classification internationale (Int. CL⁷). F 28 D 19/00; A 01 J 9/04; F 25 B 25/00, 39/02;
F 28 D 1/06; F 28 F 23/00.

(22) Date de dépôt..... 2 octobre 1980.

(33) (32) (31) Priorité revendiquée :

(41) Date de la mise à la disposition du
public de la demande..... B.O.P.I. — « Listes » n° 14 du 9-4-1982.

(71) Déposant : Société en nom collectif dite : ALFA-LAVAL & CIE - AGRI-COOL, résidant en
France.

(72) Invention de : Jean-Louis Esteve.

(73) Titulaire : *Idem* (71)

(74) Mandataire : Office Blétry,
2, bd de Strasbourg, 75010 Paris.

ref. GLP N 2 - 3 83 8

La présente invention a pour objets un procédé et un dispositif de stockage d'énergie thermique à basse température, le procédé étant dit "à glace molle" ou "à glace douce", ainsi que l'application de ce procédé et de ce dispositif.

5 Les procédés classiques de stockage d'énergie à basse température (à 0°C ou 273° K) sont basés sur le principe du changement d'état (liquide → solide) d'un corps abondant et peu coûteux : l'eau, transformée en glace à 0°C à la pression atmosphérique. Une machine frigorifique, dont l'évaporateur est généralement
10 réalisé par un tube-serpentin plongé dans une cuve contenant de l'eau, produit du froid par l'évaporation du fluide frigorigène circulant dans ce serpentin. Lorsque la température de l'eau est voisine de 0°C, il y a formation de glace autour du serpentin (soit sur la surface de l'évaporateur). Un dispositif de mesure de
15 l'épaisseur de glace stoppe la machine frigorifique lorsque la quantité optimale de glace est réalisée. L'utilisation de l'énergie thermique ainsi stockée sera obtenue par la circulation de l'eau (non prise en glace) de la cuve, via un échangeur de chaleur extérieur, et par son retour à température plus élevée dans
20 la cuve. Au contact de cette eau, dont la température est alors supérieure à 0°C, la glace présente dans la cuve se retransformera en eau, en absorbant 80 kcal par kg de glace.

Le procédé selon l'invention est basé au départ sur le même principe, à savoir stockage d'énergie thermique par changement d'état d'un corps (liquide → solide) et restitution de la
25 chaleur latente de fusion de ce corps lors de son utilisation dans

un échangeur de chaleur. Cependant, le présent procédé est original, du fait que le corps utilisé en changement de phase n'est plus l'eau, mais un mélange d'eau et d'un autre liquide, notamment un mélange d'eau et d'alcool, et le dispositif employé pour la mise en oeuvre du procédé est également original du fait que l'évaporateur de la machine frigorifique et la cuve de stockage dudit corps sont différents des matériels conventionnels.

La présente invention a donc pour premier objet un procédé de stockage d'énergie thermique à basse température faisant intervenir un changement d'état de l'eau, passant de l'état liquide à l'état solide, par refroidissement au contact de l'évaporateur d'une machine frigorifique, cet évaporateur étant placé dans une enceinte contenant l'eau et l'eau refroidie étant destinée à être envoyée dans un échangeur de chaleur extérieur à l'enceinte contenant le mélange d'eau et de glace et à revenir ensuite dans ladite enceinte pour se refroidir à nouveau au contact de la glace, caractérisé en ce que l'on utilise, comme corps subissant le changement d'état, un mélange d'eau et d'un autre liquide, le point de congélation de ce mélange à la pression atmosphérique étant inférieur à 0°C et des cristaux de glace petits et non soudés entre eux, parce qu'ils sont enveloppés d'un film dudit liquide qui les isole, étant formés en abondance dans l'enceinte. De ce fait, il devient possible d'envoyer dans ledit échangeur de chaleur extérieur non seulement la fraction de l'eau, qui est refroidie sans être prise en glace, mais encore cette eau refroidie chargée d'une partie au moins des petits cristaux de glace formés dans ladite enceinte, ce qui accroît l'efficacité de l'échangeur (refroidissement plus rapide).

Comme cela a été indiqué ci-dessus, on pourra choisir avantageusement un mélange d'eau et d'alcool.

Le point de congélation d'un mélange d'eau et d'alcool est inférieur à 0°C ; on en verra plus loin les avantages.

L'alcool employé est préférablement le plus courant, à savoir l'alcool éthylique. Toutefois, d'autres alcools utilisables sont l'alcool allylique $\text{CH}_2=\text{CH}-\text{CH}_2\text{OH}$, l'alcool benzylique

$C_6H_5-CH_2OH$, l'alcool butylique $CH_3 (CH_2)_2 CH_2OH$, l'alcool propylique $CH_3 CH_2 CH_2OH$, l'éthylène-glycol $CH_2OH CH_2OH$, le propanediol 1,2 $CH_3 CHOH CH_2OH$.

Un autre objet de l'invention est un dispositif pour la mise en oeuvre du procédé, qui est caractérisé en ce que l'évaporateur de la machine frigorifique associée à ladite enceinte est constitué par le fond de cette enceinte, sous lequel est soudé par points un double fond, et en ce qu'un agitateur est prévu, comportant des pales destinées à balayer la surface du fond de l'enceinte.

L'invention a enfin pour objet l'application du procédé et du dispositif au refroidissement de toute substance solide, liquide ou gazeuse, et notamment au refroidissement instantané du lait, en vue du stockage de celui-ci à basse température après la traite.

Une forme particulière d'exécution du dispositif suivant l'invention est décrite ci-après à titre d'exemple purement indicatif et nullement limitatif, en référence au dessin annexé sur lequel :

La figure 1 en est une vue schématique en coupe verticale axiale.

La figure 2 en est une vue en coupe horizontale suivant la ligne II-II de la figure 1.

La figure 3 est une vue à échelle agrandie d'un détail de la figure 1.

La cuve de traitement et de stockage du corps destiné à changer d'état (mélange d'eau et d'alcool) est une cuve cylindrique verticale à double enveloppe isolée, une enveloppe intérieure 1 en acier inoxydable ou autre matériau non attaqué par l'eau et une enveloppe extérieure 2 en matériau porteur quelconque, d'une robustesse suffisante. Un matériau d'isolement 3, par exemple en mousse de polyuréthane injectée, remplit l'espace entre les deux enveloppes.

Un couvercle 17, isolé ou non, hermétique ou non, amovible, protège le produit stocké tout en permettant l'accès aux mécanismes intérieurs.

Le fond 4 de la cuve, en acier inoxydable ou autre matériau

thermiquement conducteur, sert de surface d'échange entre le produit en changement d'état (un liquide avant la formation de glace, un solide + un liquide après), en l'occurrence un mélange eau/alcool, et le liquide frigorigène de la machine frigorifique.

5 Un double fond 5 soudé par points sous le fond 4 constitue avec celui-ci l'évaporateur d'une machine frigorifique associée, c'est-à-dire l'échangeur de chaleur intérieur à la cuve. Quelques-uns de ces points de soudure 20 sont représentés symboliquement par de petits points sur la figure 2. Des lignes
10 de soudure 21 forment des chicanes déterminant un trajet convenable du fluide frigorigène (tel qu'un "Fréon") à l'intérieur du fond-évaporateur, c'est-à-dire un trajet utilisant au maximum le circuit de l'évaporateur. Le fluide frigorigène entre en phase liquide par la tuyauterie 6 et sort en phase gazeuse par
15 la tuyauterie 7, en retirant les calories du produit introduit dans la cuve (la réalisation de l'évaporateur sur le fond de la cuve 4 pourra être différente de celle décrite et représentée).

Un moto-réducteur 8 à vitesse lente (par exemple 4 à 10 tours/mn) est destiné à entraîner en rotation un arbre 18
20 associé à une double pale 9 et dont l'extrémité peut éventuellement s'appuyer sur le fond de la cuve par le pivot 10. Cette double pale 9 (voir la figure 3) est destinée à balayer la surface de l'évaporateur 4-5. La distance e entre la partie inférieure de la pale et le fond 4 de la cuve est la plus réduite possible, sans toutefois que la pale touche le fond. Des haubans 11
25 permettent le réglage en position des pales 9 et leur maintien pendant les opérations d'agitation du contenu de la cuve. Le moto-réducteur 8 est maintenu en position fixe sur un support rigide 12.

30 Utilisation du produit stocké (glace + liquide)

Un orifice 13 avec filtre à maille adaptée 19 prévu dans le fond 4 de la cuve permet l'extraction du liquide froid chargé ou non de petits cristaux de glace en 14, la glace étant retenue totalement ou partiellement. Une pompe non représentée propulse
35 ce liquide vers un échangeur de chaleur extérieur (échangeur à plaques par exemple) non représenté, pour refroidir par chaleur sensible et éventuellement latente un corps liquide, solide ou gazeux, que l'on envoie dans l'échangeur pour le trai-

ter par le froid (lait par exemple).

Le liquide réchauffé retourne dans la cuve par une tuyauterie 15 traversant le couvercle 17 (ou le support 12 du moto-réducteur), ou, éventuellement, par l'arbre 18, creux dans ce cas, du moto-réducteur.

Pour la régulation thermique du dispositif, un thermostat, dont l'élément sensible 16 est fixé en partie basse sur la face externe de l'enveloppe intérieure 1 de la cuve, permet d'arrêter le compresseur de la machine frigorifique associée, lorsque la température mesurée est inférieure à la température de congélation du produit stocké dans la cuve.

Exemple de fonctionnement du dispositif

Un mélange eau/alcool [par exemple à 5 % en poids d'alcool éthylique, dont le point de congélation à la pression atmosphérique est d'environ $-2,5^{\circ}\text{C}$ ($270,5^{\circ}\text{K}$)] est introduit dans la cuve de traitement. L'installation frigorifique est mise en fonctionnement simultanément avec l'ensemble moto-réducteur/pales (8,18,9,11). Lorsque la température du produit liquide atteint $-2,5^{\circ}\text{C}$, de la glace se forme sur l'évaporateur (fond de cuve 4). Les cellules de glace ainsi formées ont la propriété de ne pas se souder les unes aux autres, car elles sont enveloppées d'une mince couche d'alcool, et de se détacher assez facilement du fond-évaporateur sous l'action des pales 9. Les cellules de glace, détachées du fond, remontent à la surface du liquide, jusqu'à ce que la presque totalité du mélange eau/alcool soit transformée en cristaux. A ce moment, la cuve est remplie de cristaux d'apparence neigeuse, non soudés les uns aux autres. Il y a une dissociation eau/alcool, qui est réalisée dans le fond de la cuve, où la concentration alcoolique augmente. L'élément sensible du thermostat 16 enregistre à ce moment une température inférieure à $-2,5^{\circ}\text{C}$ et il stoppe la machine frigorifique.

Le produit liquide froid (mélange eau/alcool à 5 % en poids d'alcool suivant l'exemple choisi) chargé ou non de petits cristaux de glace est alors pompé en 14 à travers le filtre 13. Il est envoyé dans l'échangeur de chaleur extérieur où il est réchauffé par le corps solide, liquide ou gazeux à traiter par le froid dans cet échangeur et il retourne à la cuve de traitement

par la tuyauterie 15. La surface d'échange entre le produit liquide en retour et la glace en cristaux stockée dans la cuve est considérable et la température de sortie du produit liquide en 14 demeure très proche de la température de congélation du mélange eau/alcool, soit $-2,5^{\circ}\text{C}$ dans l'exemple considéré.

Quand la température remonte au-dessus de la température d'arrêt tout en étant inférieure audit point de congélation, le thermostat 16 réglé en conséquence remet en route la machine frigorifique.

10 Avantages de l'invention par rapport aux procédés classiques

1) A performances égales, le coût de l'installation peut être plus faible, à cause de la suppression du serpentin dans la cuve, remplacé par le double fond formant évaporateur.

2) A volume égal de la cuve de traitement, la quantité de glace stockée peut être plus importante, par suite de l'emploi d'un mélange eau-alcool, qui fournit des cristaux de glace petits, montant facilement à la surface du liquide et libérant ainsi rapidement le fond de la cuve, sur lequel de nouveaux cristaux vont se former.

3) La température du liquide envoyé dans l'échangeur de chaleur extérieur étant plus basse ($-2,5^{\circ}\text{C}$ au lieu de 0°C), un produit altérable tel que le lait est refroidi instantanément à une température plus basse que par la méthode habituelle, ce qui anéantit ou neutralise plus sûrement les germes qu'il contient et réduit la puissance de la machine frigorifique, qui est ensuite nécessaire pour maintenir à basse température le produit altérable que l'on stocke.

4) La vitesse de fonte de la glace lors de l'utilisation est beaucoup plus rapide, étant donné que la surface d'échange entre la glace et le liquide réchauffé revenant dans la cuve est considérable, compte tenu de la petite taille des cristaux de glace avec le présent procédé, et le liquide qui va être à nouveau envoyé dans l'échangeur extérieur est ainsi refroidi plus vite.

5) Il est possible de stocker de l'énergie thermique à différentes températures, en modifiant le pourcentage du liquide (alcool) mélangé à l'eau, donc la température de congélation du mélange.

Exemple d'application de l'invention

Une application particulière intéressante est le refroidissement du lait à la ferme par la méthode dite du "refroidissement instantané". Le lait à 35°C provenant du lactoduc de la
5 salle de traite passe par un échangeur de chaleur (par exemple, du type à plaques de la Société ALFA-LAVAL, FRANCE), il cède instantanément (le temps de séjour dans l'échangeur étant de l'ordre de quelques secondes) sa chaleur au liquide intermédiaire à basse température (par exemple -2,5°C) provenant de la cuve
10 du dispositif suivant l'invention et il arrive à la cuve de stockage du lait à une température inférieure à 4°C, qui sera ensuite éventuellement maintenue au moyen d'une machine frigorifique de faible puissance.

Ce procédé pourrait être utilisé sous d'autres formes
15 et avec d'autres types d'échangeur, et, bien sûr, il s'applique au refroidissement de nombreuses substances autres que le lait, ces substances pouvant être liquides, solides ou gazeuses.

Des modifications de détail, du domaine des équivalents techniques, peuvent être apportées au procédé et au dispositif
20 décrits ci-dessus, sans que l'on sorte pour cela du cadre de la présente invention.

REVENDICATIONS
=====

1.- Procédé de stockage d'énergie thermique à basse température faisant intervenir un changement d'état de l'eau, passant de l'état liquide à l'état solide, par refroidissement au contact de l'évaporateur d'une machine frigorifique, cet évaporateur étant
5 placé dans une enceinte contenant l'eau et l'eau refroidie étant destinée à être envoyée dans un échangeur de chaleur extérieur à l'enceinte contenant le mélange d'eau et de glace et à revenir ensuite dans ladite enceinte pour se refroidir à nouveau au contact de la glace, caractérisé en ce que l'on
10 utilise, comme corps subissant le changement d'état, un mélange d'eau et d'un autre liquide, le point de congélation de ce mélange à la pression atmosphérique étant inférieur à 0°C et des cristaux de glace petits et non soudés entre eux, parce qu'ils sont enveloppés d'un film dudit liquide qui les isole, étant
15 formés en abondance dans l'enceinte.

2.- Procédé suivant la revendication 1, caractérisé en ce que l'on envoie dans ledit échangeur de chaleur extérieur l'eau refroidie, chargée d'une partie au moins des petits cristaux de glace formés dans ladite enceinte.

20 3.- Procédé suivant la revendication 1 ou 2, caractérisé en ce que ledit autre liquide est un alcool.

4.- Procédé suivant la revendication 3, caractérisé en ce que ledit alcool est choisi parmi l'alcool éthylique, l'alcool allylique, l'alcool benzylique, l'alcool butylique, l'alcool
25 propylique, l'éthylène-glycol, le propanediol-1,2.

5.- Procédé suivant la revendication 4, caractérisé en ce que l'on emploie un mélange d'eau et d'alcool éthylique

à 5 % en poids d'alcool, dont le point de congélation est d'environ $-2,5^{\circ}\text{C}$ à la pression atmosphérique.

6.- Dispositif pour la mise en oeuvre du procédé suivant l'une quelconque des revendications 1 à 5, caractérisé en ce que
5 l'évaporateur de la machine frigorifique associée à ladite enceinte est constitué par le fond (4) de cette enceinte, sous lequel est soudé par points un double fond (5), et en ce qu'un agitateur est prévu, comportant des pales (9) destinées à balayer la surface du fond (4) de l'enceinte.

10 7.- Dispositif suivant la revendication 6, caractérisé en ce qu'un thermostat (16) est monté sur la partie inférieure de l'enceinte pour commander le fonctionnement de la machine frigorifique, l'arrêter lorsque la température mesurée est inférieure à la température de congélation du mélange d'eau et de
15 l'autre liquide employé et la remettre en route lorsque cette température est supérieure à la température d'arrêt, mais inférieure audit point de congélation.

8.- Dispositif suivant la revendication 6 ou 7, caractérisé en ce que des lignes de soudure (21) sont formées entre le fond
20 (4) de l'enceinte et ledit double fond (5) pour former des chicanes déterminant le trajet du fluide frigorifique dans toute l'étendue de l'évaporateur.

9.- Dispositif suivant l'une quelconque des revendications 6 à 8, caractérisé en ce que les pales (9) de l'agitateur sont
25 reliées à l'axe d'entraînement en rotation (18) de celui-ci par des haubans (11) réglant la position en hauteur des pales au-dessus de la surface de l'évaporateur.

10.- Application du procédé suivant l'une quelconque des revendications 1 à 5 et du dispositif suivant l'une quelconque des
30 revendications 6 à 9. au refroidissement de toute substance solide, liquide ou gazeuse traversant ledit échangeur de chaleur extérieur et, notamment, au refroidissement instantané du lait après la traite.

Fig. 1

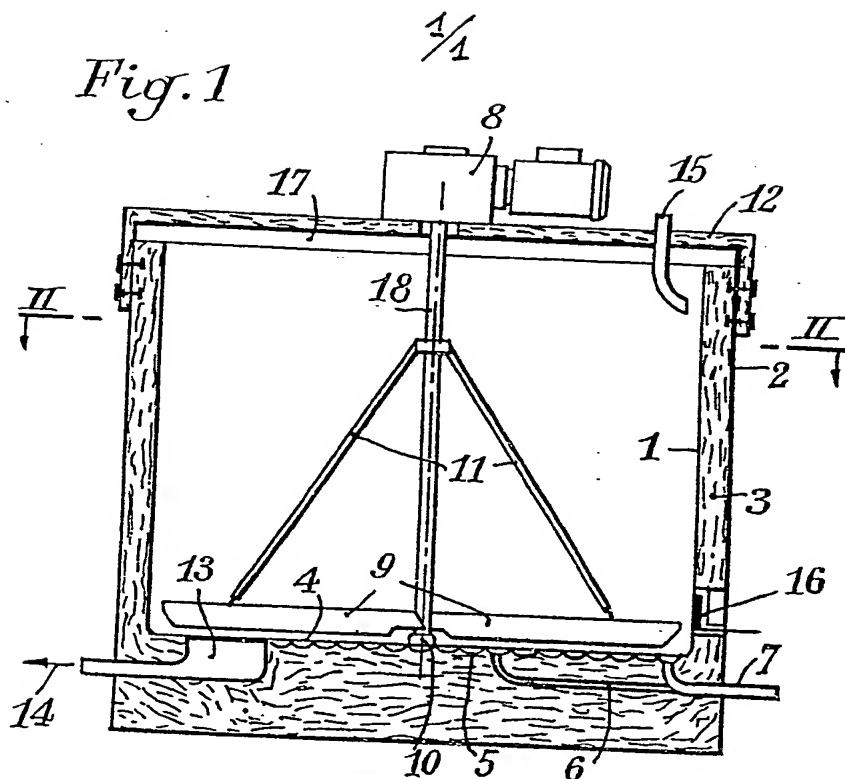


Fig. 2

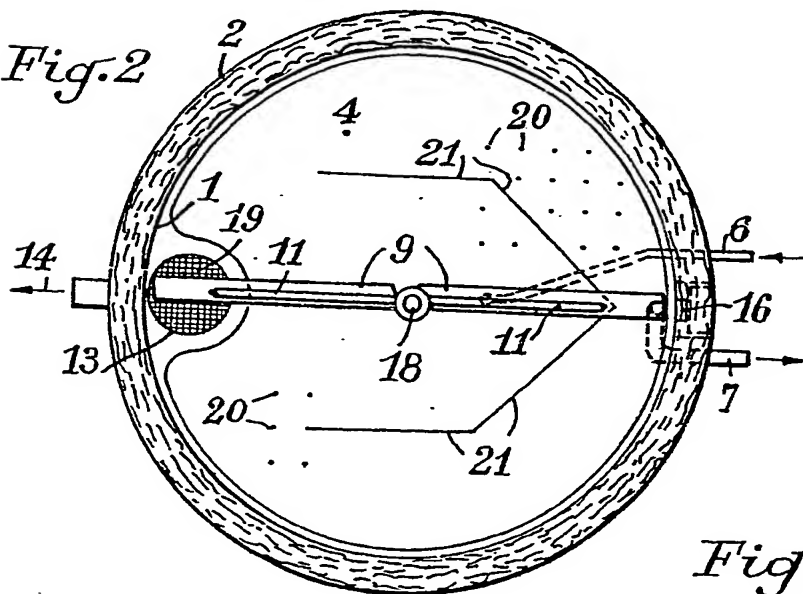


Fig. 3

